

교통소음 건강영향평가 소개

선효성^{1)*}·박영민¹⁾

Presentation on Health Impact Assessment of Transportation Noise

Hyo Sung Sun^{1)*}·Young Min Park¹⁾

1) 한국환경정책·평가연구원(Korea Environment Institute)

제 출 : 2009년 2월 2일 승 인 : 2009년 3월 13일

국문 요약

도로, 철도, 공항을 포함하는 교통시설에 의한 교통소음으로 인하여 많은 사람들이 신체적 및 정신적인 피해를 받고 있는 가운데 선진국의 경우 교통소음에 노출된 인체 건강의 위험성을 인지하고 그것을 해결하기 위한 많은 연구가 수행되고 있다. 이러한 연구흐름에 따라 본 연구에서는 교통소음의 건강영향에 대한 국내외의 연구결과를 바탕으로 하여 국내 교통소음에 의한 건강위해성을 평가할 수 있는 기본적인 방안을 모색해 보고자 한다.

교통소음의 건강영향에 대한 평가방법 중에서 많은 연구가 진행되고 있는 교통소음에 의한 성가심 및 수면방해 연구는 교통소음의 측정자료 및 설문조사결과를 바탕으로 소음지표에 대한 불쾌감 및 수면방해 호소비율의 관계를 보여주고 있다. 이에 대한 국내외의 노출-반응 예측결과를 비교해 보면 우리나라 사람들이 다른 나라 사람들보다 교통소음에 대해 대체로 더 높은 소음성 불쾌감 및 수면방해를 호소하는 것을 알 수 있다. 교통소음의 건강영향에 대한 연구결과 및 외국의 사례를 바탕으로 교통소음의 건강위해성을 평가할 수 있는 기본적인 방안을 제시하였는데 그에 대한 내용은 국내 교통소음 건강영향 예측모델의 개선을 통한 객관적인 평가기준 마련과 아울러 교통소음에 대한 사람들의 인식정도나 소음환경의 질을 향상시킬 수 있는 저감방안 마련을 포함한다.

■ 주제어 ■ 교통소음, 건강영향평가, 성가심, 수면방해

Abstract

Because many people suffer from physical and mental damage caused by the noise created by transportation infrastructure, including road traffic, rail, and aircraft, developed countries have conducted research on predicting and solving the impact to human health from being exposed to transportation noise. Therefore, this study suggests a fundamental plan to assess the health impact of transportation noise on the basis of domestic and foreign prediction results regarding the health impact of transportation noise.

The domestic and foreign exposure-response expressions, including the noise index and the health impact indicator of annoyance and sleep disturbance, are compared, and it is found that domestic

individuals show a more sensitive response to transportation noise. Based on domestic and foreign research, and a case study regarding the health impact of transportation noise, a fundamental plan to assess the health impact of transportation noise comprises the preparation of objective assessment standards through the improvement of exposure-response models, and the establishment of reduction measures which can improve the quality of the transportation noise environment.

▣ **Keywords** ▣ transportation noise, health impact assessment, annoyance, sleep disturbance

I. 서 론

급속한 산업화 및 도시화로 인해 환경문제가 심각해지고 있는 가운데 산업국가에서는 질 환의 25~33% 정도가 환경적인 요소로 인해 발생하고 있다는 주장도 제기되는 등 환경과 건강의 상관관계가 확인되고 있으며 특히 교통소음을 포함한 환경소음의 문제로 인하여 세계적으로 많은 사람들이 신체적·정신적 피해를 받고 있는 실정이다. 환경소음 중 교통소 음에 의한 문제는 현재 세계적으로 상당히 심각한 수준으로 미국의 경우 인구의 40%정도 가 55dB이 넘는 교통소음에 노출되어 있으며 유럽과 일본의 경우에는 심지어 이보다 더 높은 비율의 인구가 55dB이상의 소음도에 노출되어 있다고 한다<표 1>(손정곤 외, 2006). 선진국뿐만 아니라 개발도상국의 경우에도 경제발전을 달성하기 위해 필수적인 요소인 교 통시설의 확충으로 인하여 많은 사람들이 교통소음의 증가에 따른 불쾌감을 호소하고 있는 실정이다(I. Al-harthy et al., 1999).

표1 외국의 교통소음 노출인구의 비율

국가	소음노출 인구비율(%)	
	불쾌한 수준 (65 dB 초과)	짜증을 유발하는 수준 (55 dB 초과)
미국	20	40
EU	도로변	40
	철도변	8
	공항주변	-
독일	22	70

이와 같이 나라마다 차이가 있겠지만 세계 여러 나라의 사람들이 도로, 철도, 공항을 포함하는 교통시설에 의한 교통소음으로 인하여 신체적 및 정신적인 피해를 받고 있기 때문에 WHO나 유럽 등 국제기구나 선진국의 경우에 교통소음에 노출된 인체 건강의 위험성을 인지하고 그것을 해결하기 위한 예방적인 차원의 연구(교통소음원에 따른 소음성 불쾌감 정도의 예측, 소음성 불쾌감에 영향을 미치는 주요 요소들의 파악, 소음성 불쾌감을 저감할 수 있는 방안 마련 등의 연구내용을 포함)를 위해 많은 시간과 노력을 투자하고 있으며 교통소음의 건강영향을 파악하기 위한 다양한 방법 및 결과를 교통소음의 정책 및 교통시설의 계획을 수립하기 위한 참고자료로 많이 활용하고 있다.

국내의 경우에도 교통소음과 관련한 노출현황과<표 2>(손정곤 외, 2006) 도로, 철도, 공항의 운용으로 인한 물질적 및 정신적 피해를 해결하는 소음환경분쟁의 발생빈도를 고려한다면 측정치인 소음레벨에 의한 환경평가의 수준을 넘어서 문제의 교통환경에서 실제 사람에게 전달되는 인체 피폭량의 정확한 측정과 인체 영향에 대한 평가와 아울러 인체 피폭량 저하를 위한 관리·감독의 기술개발이 선행되어야 하며 이것을 바탕으로 교통환경에 대한 개선방안 및 관리 등과 같은 선진국형 종합 환경평가를 위한 기반기술로 적극적으로 활용하고자 하는 노력이 필요하다고 볼 수 있다.

표2 국내의 교통소음 노출인구의 비율

구분	소음노출 인구비율(%)	비고
도로변	52.7	야간소음기준
철도변	3.8	
공항주변	2.9	

국내의 환경영향평가제도와 관련하여 작성되는 환경영향평가서 및 사후환경영향조사서에서 주로 개별활동에 따른 직접적인 영향만을 다루고 인간건강 및 안전, 삶의 쾌적성이나 생활수준 등 간접적인 영향이나 최종적인 영향에 대해서는 거의 무시되고 있다. 국내의 환경영향평가 항목 중 건강과 관련된 항목은 환경영향평가법과 환경영향조사 등에 관한 규칙에 따라 위생·보건이 규정되어 있으나 주요 평가내용에는 사업장내 근무자 및 주변지역 주민의 보건위생대책, 전염병 등 질병유발요인의 검토 및 대책, 공중위생시설의 배치 및 관리계획 등의 내용만을 포함하고 있는 실정이다(이영수 외, 2007). 외국의 경우에 건강과 환경이 밀접한 관계가 있음이 밝혀지면서 WHO 등의 국제기구에서는 1980년대 초반부터 건

강영향평가(Health Impact Assessment, HIA)의 실시 및 활성화를 위한 노력을 시작하였다. 현재 미국, 캐나다, 호주, 영국 등에서는 각 나라마다 운용형태 및 방법 등은 다르지만 정책개발 단계나 프로젝트 단계 등에서 건강영향평가를 수행하고 있으며 그 결과를 정책결정이나 프로젝트의 계획수정 등에 활용하고 있다(이영수, 2007). 국내의 교통소음을 포함한 환경소음과 관련한 환경영향평가의 경우에도 이론적인 예측식이나 수치적인 해석모델을 사용하여 주변의 정온시설에 대한 영향을 파악하고 기준을 초과하는 경우에는 저감방안을 수립하는 방향으로 진행되고 있다. 하지만 이러한 환경소음의 발생으로 인하여 주변에 거주하고 있는 사람들의 건강에 미치는 영향에 대해서는 고려하지 않고 있으므로 교통소음을 포함한 환경소음의 분야에서도 소음의 발생으로 영향을 받는 사람들의 건강 및 생활의 질에 대한 고려를 포함한 평가가 절실히 요구된다.

따라서 이 연구에서는 국내외적으로 설문조사 등을 근간으로 하는 교통소음의 건강위해성 예측모델 및 평가방법과 아울러 교통소음과 관련한 외국의 건강영향평가 사례를 바탕으로 교통소음의 발생으로 인한 건강영향을 올바르게 평가할 수 있는 방안을 모색해 보고자 한다.

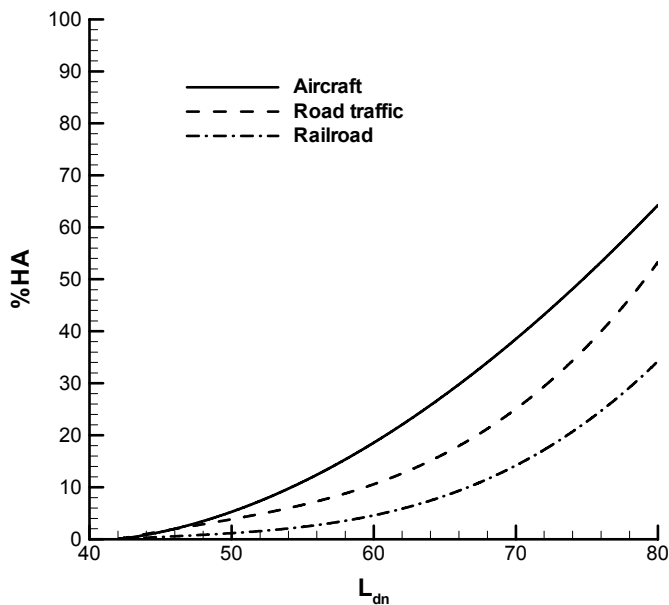
II. 국내외 교통소음 건강영향 평가기법 현황

환경소음과 관련한 위해성 평가는 세계보건기구(WHO)의 건강 위해성에 대한 정의를 바탕으로 하고 있고 환경소음의 위해성은 생체의 형태학적(morphology) 혹은 생리학적(physiology) 변화로 정의되며 이러한 변화는 고유기능 능력의 손실, 증가되는 스트레스에 대한 보상능력의 감퇴, 그리고 환경영향인자들이 갖는 유해성에 대한 민감도의 증대(면역성 감퇴)를 포함한다. 또한 이러한 정의는 인간 혹은 인간 생체기관들의 물리적(physical), 심리적(psychological) 혹은 사회적(social) 기능성의 한시적 혹은 영구적 저하를 포함한다(WHO, 1994).

교통소음에 의한 인체 위해성 영향인자로는 소음성 난청, 대화방해, 소음성 수면방해, 심장혈관계와 생리적 영향, 정신적 건강영향, 효율성 영향, 소음성 불쾌감과 행동에 미치는 영향 등을 고려하고 있으며 이 연구에서는 교통소음에 의한 인체 위해성 영향인자들 중에서 국내외적으로 가장 많이 연구가 진행되고 있는 교통소음에 의한 성가심 및 수면방해에 대한 평가방법 및 결과들을 살펴보고자 한다.

성가심(annoyance)은 개인이나 단체에 악영향을 주는 것으로 알려진 어떤 행위자나 상황과 관련된 불쾌한 감정 또는 적의, 불쾌, 불안, 불만의 감정이나 소음이 사람의 생각, 감정 또는 일상생활을 방해할 때 생기는 불쾌감 등으로 정의할 수 있으며(김득성 외, 2006) 교통소음의 성가심 분석은 노출된 소음에 대한 성가심 정도를 표현하는 방안을 제안하는 것부터 시작된다. 이와 관련하여 외국의 학자들이 교통소음에 대한 노출-반응 관계(exposure-response relationship)를 알아보기 위해서 연구를 수행하였으며 Schultz에 의해서 소음지수인 L_{dn} 과 높은 소음성 불쾌감을 보이는 사람들의 비율, %HA에 대한 관계식을 제안하는 것으로부터 시작되었다. 그리고 선행연구의 결과들을 집대성하여 정리한 Miedema에 의해서 지금까지의 광범위한 데이터베이스를 기반으로 하여 도로교통, 철도, 항공기 소음원에 따라 서로 다른 L_{dn} -%HA 예측곡선을 유도하였다<그림 1>(H.M.E. Miedema et al., 1998).

그림1 외국의 교통소음에 의한 성가심 노출-반응 예측결과



여기에서 L_{dn} (day-night average sound level)은 주야 평균소음레벨이라고 불리우며 등가소음레벨을 기준으로 하여 하루의 매 시간당 등가소음도를 측정하고 야간에 10dB의 가중치를 고려하여 24시간에 대한 평균소음레벨로 계산되어진다.

$$L_{dn} = 10 \log \left[\frac{1}{24} \{ 15 \times 10^{L_d/10} + 9 \times 10^{(L_n+10)/10} \} \right]$$

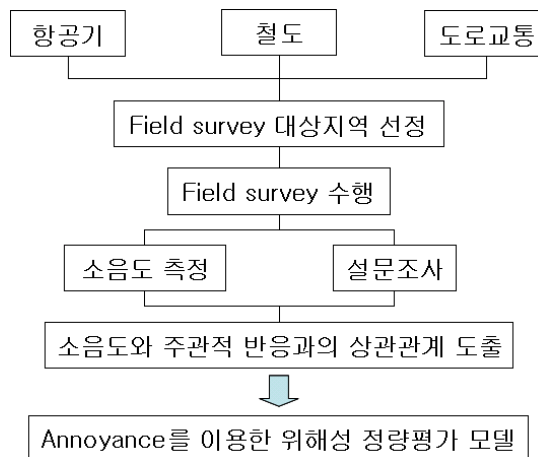
L_d : 07:00~22:00 동안의 L_{eq} 값

L_n : 22:00~07:00 동안의 L_{eq} 값

또한 교통소음의 측정값과 함께 설문조사를 통한 심리적인 결과를 나타내는 %HA(% highly annoyed)조사를 겸하고 있으며 %HA란 소음에 노출된 사람들의 총 인원수에 대한 성가심 크기의 상위 범주에 반응한 사람들 수의 비율로 정의된다. 소음에 대한 불쾌감의 정도를 0(전혀 불쾌하지 않음)에서 100(매우 불쾌함)으로 하는 감성척도에서 72 혹은 그 이상의 소음성 불쾌감을 호소하는 경우에 대하여 %HA 범주로 구분한다(H.M.E. Miedema et al., 2001).

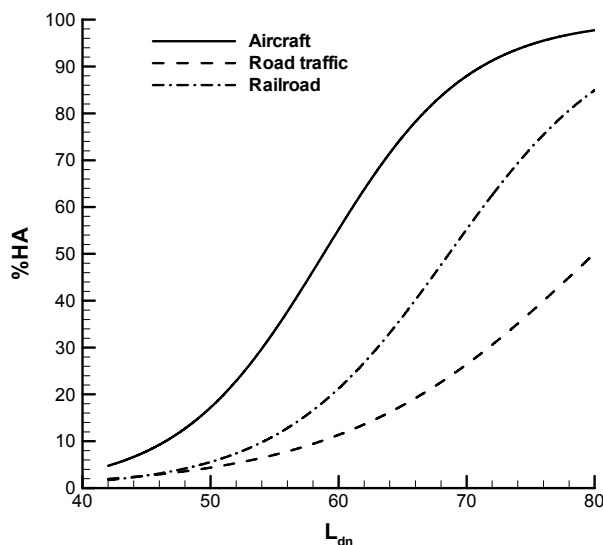
국내의 경우에는 WHO에서 소음의 인체 위해성 평가지표로 제안하고 있는 소음성 불쾌감(annoyance) 인자를 이용해서 항공기, 도로교통 및 철도 등의 교통소음에 장시간 노출된 주민을 대상으로 하여 노출 소음도와 노출지역 주민의 높은 소음성 불쾌감을 호소하는 군집비율(%HA)과의 상관관계를 연구하였다(임창우, 2006). <그림 2>는 소음성 불쾌감의 정량평가연구와 관련한 개략적인 진행절차를 나타낸 것으로 크게 교통소음 측정 및 설문조사의 내용을 포함하는 현장조사(field survey)와 구축된 자료를 토대로 회귀분석모델을 이용하여 정량평가모델을 도출하는 2단계로 구분된다.

그림2 교통소음 불쾌감 연구의 진행절차



외국의 경우와 마찬가지로 교통소음을 측정된 데이터와 설문조사결과를 바탕으로 교통소음을 발생시키는 소음원의 특성에 따른 불쾌감 정량평가모델을 제안하였다<그림 3>. 외국의 성가심에 대한 교통시설별 노출-반응 예측결과를 비교해 보면 다소간의 차이점을 보여주고 있으며 연구가 수행된 지역의 문화 및 언어적인 차이뿐만 아니라 연구를 위해 사용된 설문조사의 설문지, 기후조건 및 연구가 수행된 시기 등에 따른 차이가 하나의 원인으로 생각되어질 수 있다(J.M. Fields et al., 1982). 우리나라 사람들에게 노출되는 교통소음 중에서 항공기소음이 철도나 도로교통소음에 비해 더 심한 %HA를 유발하는 것을 알 수 있으며 이러한 경향은 항공기사고에 대한 정신적인 두려움이 작용하였다고 추측할 수 있다(E.A.M. Franssen et al., 2002). 또한 외국의 연구결과와 비교하여 두드러지게 나타나는 차이는 철도소음에 의한 우리나라 사람들의 소음성 불쾌감 반응이 도로교통소음에 의한 것보다 크다는 사실이며 이러한 차이를 유발하는 가장 주요한 이유는 우리나라 사람들과 외국 사람들이 가지고 있는 소음원에 대한 부정 혹은 긍정적인 인식 등과 같은 문화적 차이 또는 소음노출의 지역적 차이 때문이라고 볼 수 있다. 특히 우리나라의 경우 대도시를 중심으로 상당히 높은 인구밀도 등으로 인해 철도와 매우 인접한 지역에 상당히 많은 주거지가 형성되어 있어서 철도의 운영으로 인한 소음 및 진동의 영향을 동시에 받게 되는 측면을 내포하고 있다고 생각할 수 있다(임창우, 2006).

그림3 국내의 교통소음에 의한 성가심 노출-반응 예측결과



수면(sleep)의 사전적 의미는 주기적으로 되풀이되는 생리적인 의식상실과 흡사한 상태로 정의되고 겉으로 보기에는 주위의 환경에 대하여 반응하지 않게 되며 감각이나 반사기능이 저하되는 각성수준의 주기적이며 일시적인 저하현상이라고 한다. 수면은 신체기관의 회복을 위하여 필요할 뿐만 아니라 수면을 통하여 각성기간 동안 얻은 정보를 조직적으로 뇌에 저장한다. 따라서 사람의 생리주기적인 측면에서 수면은 없어서는 안 될 중요한 부분이고 보다 안락한 수면을 취해야만 일상생활에서 사람의 신진대사나 물리적 및 정신적 활동 등이 정상적으로 작동될 수 있을 것이다. 만약 수면장애가 생길 경우에는 사고력 및 판단력의 저하, 근무능력과 생산력의 저하, 우울증과 소화기능 저하, 고혈압, 운전중 졸음사고 등과 같은 문제점이 발생할 수 있다고 한다.

이러한 수면방해(sleep disturbance)에 관한 연구가 다양한 방법을 토대로 하여 국내외적으로 진행되어지고 있으며 설문지(questionnaire)를 이용한 접근방법이 주로 적용되어지고 있다. 설문지에 의한 접근방법은 수면방해와 관련한 질문들을 포함하는 설문지의 작성 결과를 바탕으로 하고 있고 주어진 Ln(밤시간의 등가소음레벨)에 대한 수면방해의 정도를 판단하는 방법으로 이전의 성가심에 대한 경우와 마찬가지로 일정한 한계값 이상의 반응정도를 백분율로 나타내어 적용하고 있으며 0~100사이의 분포에서 한계값이 72이상의 경우에는 %HSD(percentage of highly sleep disturbed)로 정의하게 된다.

그림4 외국의 교통소음에 의한 수면방해 노출-반응 예측결과

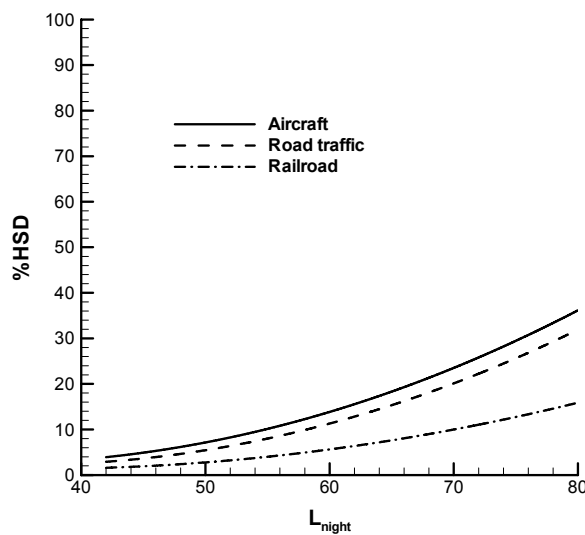
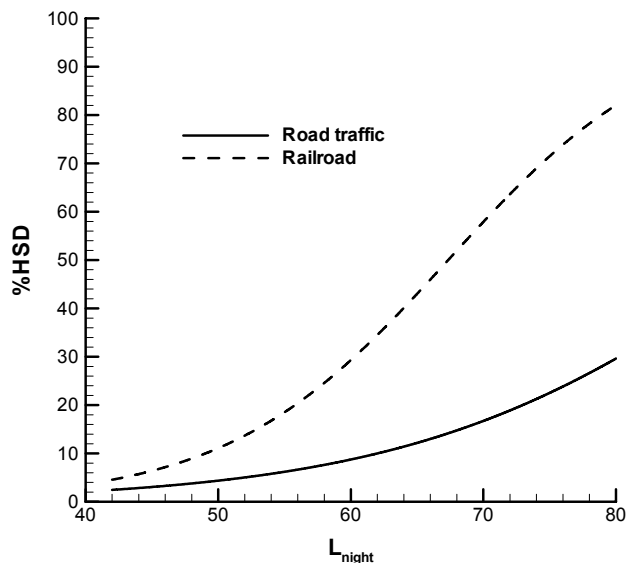


그림5 국내외 교통소음에 의한 수면방해 노출-반응 예측결과



소음지수에 대한 성가심의 정도(%HA)를 표현하는 예측식을 제안하는 방법과 유사하게 설문조사에 근거한 수면방해 평가지표(%HSD)와 L_n 사이의 노출-반응 관계식도 Miedema에 의해서 제시되고 있고 이러한 예측모델을 개발하기 위해서 도로교통, 철도, 항공기 소음에 대한 많은 나라들의 설문조사결과를 취합하였으며 그에 따른 95%의 신뢰도의 L_n -%HSD 관계다항식을 제안하였다<그림 4>(H.M.E. Miedema, 2007). 국내의 경우에도 야간에 운행이 되고 있는 도로교통 및 철도로 인한 수면방해의 설문조사결과를 기반으로 하여 야간의 등가소음레벨, L_n 과 높은 수면방해의 비율, %HSD의 예측곡선을 산출하는 연구를 수행하였다. 이를 외국의 예측결과와 비교해 보면 우리나라 사람들이 외국에 비하여 교통소음에 대한 수면방해정도가 높은 것을 알 수 있으며 이러한 결과는 이전의 성가심에 대한 국내외 연구결과의 비교와 유사한 경향을 보여주고 있다<그림 5>(J. Hong, et al., 2007).

Ⅲ. 국내의 교통소음 건강영향 평가방안 마련

1. 교통소음의 건강영향 예측모델 개선

교통소음의 발생으로 인한 건강영향을 객관적으로 평가하기 위해서는 소음지수와 건강영향인자들의 관계를 보여주는 노출-반응 예측식의 신뢰도를 향상시키는 것이 선행되어야 한다. 외국의 경우에는 오랜 기간동안 교통시설(도로교통, 철도, 항공기)의 소음원 특성에 따른 소음측정자료와 다양한 국가 및 지역의 사람들에 대한 설문조사결과의 방대한 자료와 아울러 예측곡선의 정확성을 향상시키기 위해서 신뢰도가 높은 통계학적인 분석기술을 활용하였다. 예를 들어, 교통소음의 성가심에 대한 연구에서도 Schultz뿐만 아니라 Fidell의 데이터베이스에 기반하여 Finegold와 Miedema가 추가적인 소음자료를 포함시키는 것과 아울러 최신의 통계알고리즘의 적용을 통하여 95%의 신뢰도를 나타내는 최종적인 노출-반응 관계를 제안하고 있다.

이러한 교통소음의 건강영향인자에 대한 노출-반응 관계를 건강영향평가에 활용한 외국의 적용사례가 2002년도 Environmental Impact Assessment Review에 수록된 네덜란드의 공항증설에 따른 HIA의 연구에 대한 것으로서(E.A.M. Franssen, et al., 2002) Schiphol 공항에 대한 환경적인 측면에서의 다양한 시나리오들에 대한 영향평가가 수행되었다. 이 연구는 환경영향평가(Environmental Impact Assessment, EIA)에 가능한 보건영향의 평가를 위해 광범위한 접근방법을 설명하였다. 또한 항공기에 의한 소음 불쾌감, 냄새 불쾌감과 고혈압 등으로 영향을 받은 많은 사람들에 대하여 항공기와 관련된 오염의 영향을 양적으로 평가하였으며 추가로 심혈관 질환과 호흡성 질병을 조사·분석하였고 불쾌감과 주민들의 위험인식정도에 대한 조사를 단기간에 수행하였다.

항공기 소음에 의해 불쾌감을 당하는 사람들의 수는 네덜란드 사람들을 위해 이용할 수 있는 대표적인 양-반응 관계를 항공기 소음에 노출된 사람들의 수를 결합시킴으로써 추정하였다. 문헌으로부터 양-반응 관계들을 유도하였으며 두 개의 양-반응관계가 사용되었다. 첫번째는 Kosten단위를 이용하는 Bitter의 관계식이며 이 관계식은 Bitter에 의한 Schiphol 공항 주위의 설문조사에 의해 유도되었다. 1991년 동안 항공기 등음선들은 항공기 소음노출의 양을 정량화하는데 사용하였으며 항공기 소음지수로는 Kosten을 적용하였다. Kosten 단위(Ke)는 1963년에 Kosten위원회에 의해 개발되었고 네덜란드에서 항공기 소음의 측정을 위해 일반적으로 사용된 종합적인 지수로서 옥외의 연평균 소음수준을 나타낸다.

Kosten단위는 항공기가 비행하는 동안의 최대 소음수준, 항공기의 운항횟수, 비행이 일어나는 시간 등에 의해 규정되어진다. 둘째로, Miedema로부터의 양-반응 관계식이 사용되었다. 이 관계식은 L_{dn} 에 기초한 것으로 유럽인의 불쾌감 연구결과에서 유도되어졌다. Bitter 방식에 의하면 20Ke 이상의 항공기 소음수준에 의해 심하게 불쾌감을 느낀 성인들의 수는 대략 100,000명 정도로 추정되었으며<표 3> Miedema로부터의 양-반응 관계를 이용할 경우에는 모든 연구지역에서 심하게 불쾌감을 느낀 사람들의 수는 Bitter방식을 따랐던 것보다 적게 산정되었다.

표3 항공기 소음수준에 의해 심하게 불쾌감을 느낀 성인들의 수

Aircraft noise exposure (Ke)	% Severely annoyed ¹⁾	Total population (≥ 20 years)	Number of severely annoyed people
< 20	5	927,790	46,390
20-24	10-15	406,390	50,800
25-29	15-20	206,750	36,180
30-34	20-25	71,160	16,010
35-39	30	15,370	4,610
40-44	45	7,170	3,230
45-49	45	3,770	1,700
50-54	45	320	140
55-59	50-55	310	170
60-64	60	70	40
> 65	65-75	90	70
Total		1,639,190	159,340

주: 1) C. Bitter. 1980. "Beleving van geluidwerende voorzieningen tegen vliegtuigla- waai in de woonsituatie-deenquete voor het aanbrengen van de geluidwerende voorzieningen". 44. Exposure-response relationship.

국내의 경우에도 교통소음의 건강영향에 대한 외국의 연구방법 및 결과를 바탕으로 하여 우리나라의 현실에 적합한 평가기법 및 설문조사방법을 개발하였으며 이를 근거로 도로교통, 철도, 항공기 소음에 대한 정량적인 노출-반응 예측경향을 제안하였다. 그러나 교통소음의 측정 및 설문조사와 관련한 방대한 자료의 구축 및 업데이트를 통하여 교통소음의 건강영향 예측모델의 신뢰성을 향상시키고자 노력하는 외국의 사례를 미루어 볼 때 교통소음에 의한 건강영향을 정확하게 예측하기 위한 추가적인 연구가 계속적으로 진행되어야 한다. 다시 말해서, 이러한 교통소음의 건강영향에 대한 노출-반응 관계는 교통소음의 발생으로

인해 주변의 사람들에게 미칠 수 있는 건강영향의 객관적인 평가를 위해서 꼭 필요한 사항이기 때문에 관련연구에 대한 경험 및 결과를 근간으로 하여 다양한 지역 및 사람들을 대상으로 하는 교통소음의 측정자료 및 설문조사의 데이터베이스 축적과 아울러 신뢰도 높은 예측모델의 개발을 위하여 구축되어진 자료의 분석을 통한 예측기법의 개선연구도 필요하다.

2. 교통소음의 건강영향 평가기준 마련

교통소음의 영향에 대한 객관적인 평가를 수행하기 위하여 교통시설의 특성에 따른 규제 기준이나 환경기준과의 비교를 통해 기준을 초과하는 지역에 대해서 적절한 저감대책을 수립하고 있으며 이와 유사하게 교통소음의 건강영향에 대한 평가에서도 상대적인 비교를 위하여 각각의 건강영향인자들에 대한 적합한 기준의 제시가 선행되어야 한다. 외국의 경우에는 교통소음을 포함한 환경소음의 건강영향에 대한 많은 연구자료를 바탕으로 하여 소음 발생으로 인한 건강영향을 최소화할 수 있는 기준을 제시하고 있다<표 4>(WHO, 1999).

국내에서도 이러한 외국의 경향을 토대로 하여 우리나라 사람들의 특성에 따른 평가기준을 마련하는 것이 필요하다. 이러한 연구의 일례로서 국내의 소음환경기준과 소음·진동규제법에 적용되고 있는 지역별 소음기준치의 성가심 비율(%HA)을 이용하여 소음환경기준에서 제외되고 있는 철도소음 및 항공기소음에 활용한 경우가 있다(김득성 외, 2006). 국내 소음환경기준을 살펴보면 일반지역과 도로변지역으로 구분되어 있으며 비교란을 보면 '이 소음환경기준은 항공기소음, 철도소음, 건설작업소음에는 적용하지 아니한다.'라는 부연설명에 포함되어 있다(환경정책기본법 참조). 이러한 상황을 바탕으로 도로변 기준에 대한 %HA값을 기반으로 하여 철도 및 항공기 소음까지 확장하였으며 그에 따른 계산과정은 <그림 6>에 제시되어 있다. 이러한 연구에서는 외국(Miedema)의 도로교통, 철도, 항공기 소음에 대한 Ldn-%HA 예측식을 적용하여 도로교통 소음기준에 해당하는 %HA를 산출하고 환경기준의 수치는 달라도 그에 해당하는 %HA는 같아야 한다는 가정 하에 동일한 %HA에 해당하는 철도소음 및 항공기소음의 기준을 제안하였다.

기존의 연구를 바탕으로 국내의 교통소음에 대한 건강영향인자의 노출-반응 예측결과에 대한 개선과 더불어 교통소음의 건강영향 평가기준 설정을 위한 건강영향인자의 현실적이면서 타당한 범위를 지정하는 것이 선행되어야 한다. 이러한 목적을 달성하기 위해서 외국의 평가기준이나 적용사례 등의 관련자료를 면밀하게 조사·분석하는 것과 아울러 국내외 관련전문가들의 다양한 의견을 수렴하는 것이 필요하다. 이와 관련한 하나의 사례로 성가

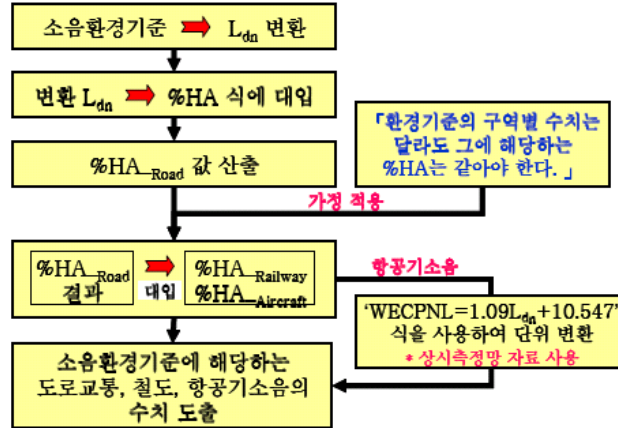
심에 대해서 유럽연합(EU)은 매우 시끄러워하는 주민반응을 20%에 해당하는 소음레벨을 배출허용기준으로 규정했고 40%에 해당하는 소음레벨을 견딜 수 있는 허용기준으로 채택하였다. 그래서 배출허용기준은 LAeq로 50~55dB, 견딜 수 있는 허용레벨은 60~65dB로 설정했고 미국의 경우에 옥외는 낮에 LAeq로 55dB, 실내는 45dB이며 야간은 각각 10dB을 낮춘 45dB과 35dB로 규정했다. 그리고 수면방해에 대하여 유럽연합은 수면확보를 위한 지침에서 옥내일 경우 LAeq로서 32dB, 세계보건기구는 실내소음 허용값은 LAeq로서 35dB을 제시해 놓고 있다. 특히, 환자의 안정이나 요양을 확보하기 위한 기준값은 수면방해하는 소음도보다 5dB 정도가 낮아야 하며 가정 내에서의 휴양이나 휴식을 취할 때는 수면방해 소음도보다 5dB 높아도 된다(이규성 외, 1999).

표4 외국의 건강영향을 고려한 환경소음의 권장기준

환경분류	인체영향인자	LAeq,T dB(A)	LAmx (Fast) dB(A)	시간 hour
주거지역(야외)	낮과 저녁시간-심한 불쾌감	55	-	16
	낮과 저녁시간-중간정도의 불쾌감	50	-	16
주거지역(실내)	낮과 저녁시간-대화방해 중간정도의 불쾌감	35	-	16
	밤시간-수면방해	30	45	8
침실이외지역	창문을 연 상태-수면방해	45	60	8
학교 및 유치원(실내)	대화장애, 기억장애, 의사소통장애	35	-	교육시간
어린이 침실	수면방해(수면시간대)	30	45	수면시간
학교(옥외)	외부소음에 의한 불쾌감	55		놀이시간
병원, 회복실	밤시간-수면방해	30	40	8
	낮과 저녁시간-수면방해	30	-	16
병원, 치료실	휴식과 건강회복에 장애	*1) ALAP		
산업지역, 상가지역, 교통혼잡지역	실내 및 실외 공간에서의 대화장애	70	110	24
축하연, 이벤트, 축제 등	난청(연 5회 이내)	100	110	4
대중연설(실내, 실외)	난청	85	110	1
헤드폰 혹은 이어폰 음	난청(음장조건에서 측정한 헤드폰으로부터의 음)	85	110	1
충격음 (장난감, 화약, 폭음재)	성년층-난청	-	140	-
	어린이-난청	-	120	-

*1) ALAP : As low as possible

그림6 %HA에 기반한 소음환경기준 산출과정



3. 교통소음의 건강영향 저감대책 수립

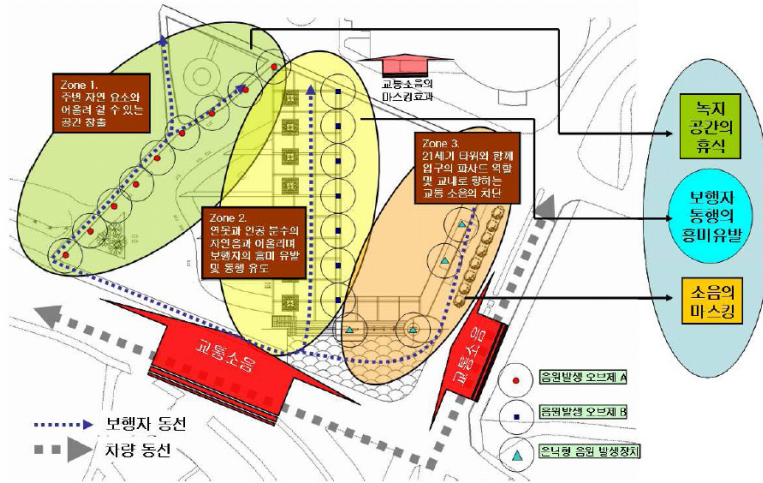
교통소음과 관련한 개발계획의 수립이나 구체적인 개발사업을 추진할 때 교통시설(도로 교통, 철도, 항공기)의 설치에 따른 교통소음의 영향이 심각하다고 생각될 경우 주변에 거주하고 있는 사람들의 건강에 심각한 영향을 줄 가능성을 배제시키기 위해서 사업계획이나 개발입지에 대한 타당성 재고를 먼저 고려해야 한다. 개발계획이나 사업에 대한 적정성 및 입지에 대한 타당성의 검증이 이루어지고 난 이후에는 교통소음의 건강영향 평가기준을 바탕으로 교통소음의 초과정도 및 발생지역의 특성을 기반으로 하여 음원대책, 전달경로대책, 수음점대책 등의 다양한 저감대책을 수립하게 된다<표 5>.

표5 국내의 교통소음에 대한 다양한 저감대책

저감대책	저감내용
음원대책	- 도로교통 : 저소음 포장공법의 적용 - 철도 : 저소음 궤도의 적용 - 항공기 : 저소음 항공기 및 저소음 운항경로의 설정
전파경로대책	- 방음시설의 설치 : 방음벽, 방음둑, 방음림, 방음터널 등 설치
수음점대책	- 이격거리 확보 : 완충녹지 선정 및 건축선 이격 - 건축물 배치 : 직각배치, 층고제한 - 정온시설에 대한 방음시설의 설치

상기에서 제시한 기존의 저감대책뿐만 아니라 교통소음의 발생으로 인한 건강영향의 문제점을 해결하기 위한 방안으로서 교통소음에 대한 사람들의 인식정도나 소음환경의 질을 향상시킬 수 있는 접근방법의 마련을 고려해야 한다. 근래에 생활수준의 향상과 더불어 사람들의 관심이나 욕구의 대상이 물질적 충족에서 정신적 만족으로 바뀌고 있으며 주거환경에 있어서도 환경의 질이 요구되고 있다. 환경의 질을 논하는 가운데 어메니티(amenity)라는 단어가 빈번히 사용되고 있으며 그 중요성은 매우 크다. 어메니티란 어원 자체가 매우 포괄적이고 광범위한 뜻을 내포하고 있으므로 주거환경의 질을 논의하는데 사용될 경우 일반적으로 인간에게 있어서 쾌적하다고 느낄 수 있는 환경으로 해석할 수 있다. 또한 사람들에게 쾌적함과 만족감을 느낄 수 있게 정비된 형태 등의 소극적인 해석도 존재한다(박영민 외, 2001). 주거지역에 대한 음환경은 주거환경의 어메니티에 있어서 중요한 요인 중의 하나라는 인식이 높아지면서 녹지의 네트워크, 안전한 보행공간, 친수공간의 조성 등 여타의 요소와 결합되어 주거환경에 대한 질적향상의 결과를 얻을 수가 있다. 인간에게 쾌적한 환경을 조성할 수 있는 음환경을 구성하기 위해서 국내외적으로 많은 연구가 이루어지고 있는 분야가 사운드스케이프(soundscape)이다. 사운드스케이프는 음환경의 마스킹 효과로서 불쾌하고 바람직하지 않은 소음에 대한 집중을 분산 또는 상쇄시켜 바람직한 음환경을 추구하는 기법으로서, 소음의 발생원으로부터 이격을 시키거나 발생원의 음향파위 자체를 규제하는 소음저감방법의 한계가 있으며, 소음환경의 개선을 위한 새로운 방향이다. 새로운 음환경을 자연적 및 인위적으로 조성함으로써 해당 공간의 음질을 개선하고 쾌적한 공간을 만드는 방법은 1970년대 캐나다의 작곡가 쉐퍼가 사운드스케이프라는 이름으로 제시하였다(R.M. Schafer, 1994). 사운드스케이프란 소리(sound)와 조망이란 의미의 접미어 스케이프(scape)와의 복합어로서 시각적인 풍경에 대해서 귀로 받아들이는 풍경, 즉 청각적 경관과 음의 풍경을 의미하는 것이며 음풍경이라고도 한다. 이는 도시의 공간에 적절한 소리를 도입하거나 불필요한 소리를 배제함으로써 쾌적한 음풍경을 조성하고자 하는 시도이다. 사운드스케이프는 도시의 소음을 마스킹하여 상대적 정온감을 느끼게 하는 효과뿐만 아니라 도시에 활력과 쾌적성을 제공하며 각 장소에 대한 아이덴티티(identity)를 부여하는 등 능동적으로 음환경을 조성할 수 있게 한다.

그림7 사운드시케이프 디자인의 적용사례



사운드시케이프의 사상과 개념이 소개되면서 이를 구체화시키려는 일련의 연구가 다양하게 진행되고 있으며 국내에서 교통소음의 영향을 최소화하기 위해 주변 환경인자를 감지하고 감지된 환경인자에 어울리는 소리를 공간에 연출하여 사운드시케이프를 디자인한 사례가 <그림 7>에 제시되어 있다(박사근 외, 2006). <그림 7>에서는 광장의 중앙대로(zone 1, 주변의 숲과 어울릴 수 있는 영역), 산책로(zone 2, 광장의 수경요소인 분수와 광장의 축을 형성하는 영역), 보행자와 차량이용자의 출입구의 상징과 랜드마크(landmark) 역할을 하는 영역(zone 3)에 대해 주변의 공간디자인 개념과 조화되는 음원재생장치를 설치하여 자연스러운 분위기를 연출하도록 디자인되어 있다. 이러한 사운드시케이프 디자인에 의한 소리환경의 변화를 평가하기 위하여 광장의 중앙대로와 산책로의 두 장소에서 현황음(배경음)만 있을 때, 분수를 작동시켰을 때, 시스템(스피커)을 작동시켰을 때, 분수와 시스템을 동시에 작동시켰을 때 등의 네 가지 소리환경에 대한 주관평가를 실시하였으며(전지현 외, 2007) 사운드시케이프 디자인을 적용한 이후에 광장 주변의 음환경이 향상되었다는 결과를 도출하였다. 이러한 평가결과를 통하여 교통소음과 같은 주변의 배경음에 대해서 시·청각요소(분수 및 인공적인 스피커 등)가 가미된 주변 환경에 어울리는 소리를 공간에 연출하여 사운드시케이프를 디자인하는 것이 교통소음으로 인한 건강영향의 측면에서 상당히 긍정적인 효과를 유도할 수 있을 것으로 보여진다.

교통소음의 발생으로 인한 건강영향의 정도를 최소화기 위한 방안으로서 소음원 대책,

전파경로대책, 수음점 대책 등과 같은 기존의 소음저감방안뿐만 아니라 교통소음에 대한 사람들의 인식정도나 소음환경의 질을 향상시킬 수 있는 관점을 포함하는 사운드스케이프의 디자인에 대한 개념 및 적용사례에 대한 기존의 연구내용을 제시하였으며 교통소음 건강영향 저감대책의 효과를 극대화하기 위해서 두 가지의 접근방법에 대한 상호 비교·검토 및 활용을 바탕으로 교통소음이 발생하는 지역의 특성 및 주변 환경을 고려하여 바람직한 음환경 개선의 효과를 최대한으로 발휘할 수 있는 구체적이면서 실질적인 최적설계연구가 필요하다. 또한 상기에 명시된 저감대책 이외에도 국내외 활용사례의 관련자료 수집 및 면밀한 분석을 바탕으로 하여 교통소음으로 인한 건강영향을 감소시켜 바람직한 음환경을 추구할 수 있는 다양한 방법의 개발연구가 요구되어진다.

IV. 결 론

도로교통, 철도, 항공기를 포함하는 교통시설에 의한 교통소음으로 인하여 많은 사람들이 신체적 및 정신적인 피해를 받고 있는 가운데 WHO나 유럽연합 등 국제기구나 선진국의 경우에 교통소음에 노출되어진 인체 건강의 위험성을 인지하고 그것을 해결하기 위한 예방적인 차원의 많은 연구가 수행되어지고 있으며 교통소음의 건강영향을 파악하기 위한 다양한 방법 및 결과들을 근간으로 하여 교통소음의 정책 및 교통시설의 계획을 수립하기 위한 참고자료로 많은 활용도를 보여주고 있다. 따라서 이 연구에서는 이러한 경향에 발맞추어 교통소음의 건강영향에 대한 국내외 연구결과를 바탕으로 하여 교통소음에 의한 건강위해성을 평가하고 저감할 수 있는 기본적인 방안을 모색해 보고자 한다.

교통소음의 건강영향에 대한 평가방법을 파악하고자 국내외적으로 가장 많이 연구가 진행되고 있는 교통소음에 의한 성가심 및 수면방해에 대한 연구결과를 주요한 내용으로 다루었으며 교통소음에 의한 성가심 및 수면방해 연구는 교통소음의 측정자료 및 설문조사결과를 바탕으로 소음지수에 대한 불쾌감 및 수면방해 호소비율(%HA, %HSD)의 관계를 보여주고 있고 우리나라 사람들이 다른 나라 사람들보다 교통소음에 대해 대체로 더 높은 소음성 불쾌감 및 수면방해 호소를 보여주고 있다.

교통소음의 건강영향에 대한 연구결과 및 외국의 사례를 바탕으로 교통소음의 건강위해성을 평가하고 저감할 수 있는 기본적인 방안을 제시하였다. 그에 대한 내용으로서는 국내의 교통소음 건강영향 예측모델의 개선을 통한 객관적인 평가기준의 마련과 아울러 기존의

소음저감방안뿐만 아니라 교통소음에 대한 사람들의 인식정도나 소음환경의 질을 향상시키기 위해서 주변 지역의 특성 및 환경적인 현황을 고려하여 바람직한 음환경을 조성하기 위한 사운드시케이프 디자인에 대한 최적설계 및 발전방향에 대한 연구가 필요하다는 것을 포함한다. 이와 같이 교통소음으로 인해 발생하는 건강영향을 평가하고 저감하기 위한 기본적인 방안 및 그에 따른 발전방향을 토대로 하여 향후에는 교통환경에 대한 개선된 정책 및 관리 등과 같은 선진국형의 종합적인 환경평가가 이루어지도록 노력해야 할 것이다.

사사 : 이 연구는 한국환경정책·평가연구원의 기초연구과제로 수행되었습니다.

참고문헌

- 김득성 외. 2006. “국내 소음기준을 이용한 성가심 변환에 관한 연구”. 「한국소음진동공학회 춘계학술대회」.
- 박사근 외. 2006. “능동형 음장조성시스템의 적용사례”. 「한국소음진동공학회 춘계학술대회」.
- 박영민 외. 2001. 「21세기 소음-진동 환경정책방향 연구」. 한국환경정책·평가연구원.
- 손정곤 외. 2006. “생활소음종합대책 : 교통소음”. 「한국소음진동공학회 춘계학술대회」.
- 이규성 외. 1999. 「소음·진동공학」. 형설출판사.
- 이영수 외. 2007. 「건강영향평가 기법개발 및 시범사업 연구」. 한국환경정책·평가연구원.
- 이영수. 2007. “환경정책 패러다임의 전환 : 건강영향평가(Health Impact Assessment, HIA)”. 「자연보존」, p138.
- 임창우. 2006. 「환경소음의 위해성 정량평가에 관한 연구」. 서울대학교 박사학위 논문.
- 전지현 외. 2007. “사운드스케이프 조성을 위한 능동형 음장조성시스템의 현장적용 평가”. 「한국소음진동공학회논문집」 17(4).
- C. Bitter. 1980. “Beleving van geluidwerende voorzieningen tegen vliegtuigla- waai in de woonsituatie-deenquete voor het aanbrengen van de geluidwerende voorzieningen”. 44. Delft: IMG-TNO.
- E.A.M. Franssen et al. 2002. “Assessing health consequences in an environmental impact assessment : The case of Amsterdam Airport Schiphol”. *Environmental Impact Assessment Review* 22(6).
- H.M.E. Miedema et al. 1998. “Exposure-response relationships for transportation noise”. *Journal of the Acoustical Society of America* 104.
- H.M.E. Miedema et al. 2001. “Annoyance from transportation noise : relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence interval”. *TNO-PG, Environmental Health Perspectives* 109(4).
- H.M.E. Miedema. 2007. “Exposure-response relationships for environmental noise”. *Proceedings of INTER-NOISE Conference*.
- I. Al-harthy et al. 1999. “Sound environment evaluation and categorization of audible sounds - The first survey of the human response to the sound environment in Muscat city(Oman)”. *Journal of Acoustical Society of Japan* 20(5).
- J.M. Fields et al. 1982. “Comparing the relationships between noise level and annoyance in different surveys : A railway noise vs. aircraft and road traffic

comparison”. *Journal of Sound and Vibration* 81.

J. Hong et al. 2007. “Comparative study on sleep disturbance from railway and road traffic noise”. *Proceedings of INTER-NOISE Conference*.

R.M. Schafer. 1994. *The Soundscape*. Destiny Books.

WHO. 1994. *Assessing human health risks of chemicals : Derivation of guidance values for health-based exposure limits*.

WHO. 1999. *Guidelines for community noise*.